Bemerkungen über Alfred Fischer's „Gefäßglykose“

Von

Karl Linsbauer

(Mit 3 Textfiguren)

Aus dem pflanzenphysiologischen Institute der Grazer Universität

(Vorgelegt in der Sitzung am 22. April 1920)

Schon Th. Hartig (I, 1858) kam auf Grund von Ringelungsversuchen an Bäumen zu dem Ergebnisse, daß durch den im Frühjahre aufsteigenden »rohen Nahrungssaft« auch gelöste Kohlenhydrate mitgeführt werden, die im Baustoffwechsel der sich bildenden Triebe Verwendung finden. Dem im Wintersafte unserer Holzgewächse oft in bedeutender Menge auftretenden Zucker schreibt Hartig (II) eine doppelte Genese zu. »In den Wandersäften ist er entweder nicht mehr auf Bildung organisierter Reservestoffe verwendeter, als Zuckerlösung überwinternder Reservestoff oder er ist als ein Auflösungsprodukt vorgebildeter, organisierter Reservestoffe zu betrachten«.

Sachs (1863) schloß sich dieser Auffassung insoferne an, als auch er zu dem Ergebnisse kommt, daß die Stärke »innerhalb des Holzkörpers selbst aufgelöst und in diesem dem Orte ihrer Bestimmung zugeführt (wird), indem ihr Lösungsprodukt mit dem aufsteigenden Rohstoffe zu den Knospen hinaufgetrieben wird«.

Die Vorstellung von der Beteiligung des Holzkörpers an der Leitung der Kohlenhydrate fand eine Stütze in den Erfahrungen über die qualitative Zusammensetzung des Blutungs-

saftes, der im Frühjahre bekanntlich ansehnliche Zuckermengen enthält (Schröder 1868).[1] Nachdem schon Schröder die im Stamme deponierte Stärke als die Quelle des Zuckers im Blutungssaft in Anspruch genommen hatte, schloß Haberlandt (1884, p. 366) auf Grund des vorliegenden Tatsachenmaterials »daß im Frühjahre, wenn sich die im Holzparenchym und in den Markstrahlen aufgespeicherte Stärke in Zucker verwandelt, die Zuckerlösung in das wasserleitende Röhrensystem osmotisch hineingepreßt wird und in demselben mit dem Transpirationsstrom in die wachsenden Blätter gelangt«. War auch diese Schlußfolgerung, wie Strasburger (1891, p. 880) zeigte, soweit sie sich auf einen Versuch von Paul Schulz (1883) über das Aufsteigen einer Tanninlösung im Stamme stützte, nicht gerechtfertigt, so konnte sie doch mit Recht auf die Erkenntnis begründet werden, daß der Zuckergehalt des Blutungssaftes nur aus den im Winter Stärke speichernden Holzparenchym und Markstrahlzellen stammen kann. Der Übertritt von Zucker aus den lebenden Zellen des Holzes in die Gefäße ist jedenfalls auf Grund der gegenseitigen anatomisch-topographischen Beziehung zwischen diesen Elementen leicht verständlich. Einen indirekten Beweis hiefür sah Alfred Fischer (I, 1886) in der von ihm beobachteten Ablagerung von Stärke in protoplasmahältigen Tracheen von Plantago.

Angeregt durch diese Beobachtung wandte Fischer dem »Zuckergehalt des Gefäßsaftes« sein besonderes Augenmerk zu. Seine Untersuchungen über diesen Gegenstand (II, 1888; III, 1891) wurden von grundlegender Bedeutung für unsere ganze Auffassung über die Wanderung der Kohlenhydrate im Stamme der Holzgewächse und die Beanspruchung von Elementen des Holzkörpers als Wanderbahnen.

Es gelang ihm eine lokalisierte Reduktion der Fehling-schen Probe in Zellen des Holzes zu erhalten, woraus er auf die Anwesenheit von Glykose (eventuell von Glykosiden) schloß, da er auf Grund kritischer Erwägungen das Vorhandensein anderer reduzierender Substanzen ausschließen zu können glaubte. »Aus den vorstehenden Auseinandersetzungen

[1] Weitere Literatur bei W. Pfeffer (I. Bd., p. 244), Hornberger (1887), Czapek (I. Bd., p. 471).

ergibt sich demnach mit der bei mikrochemischen Untersuchungen gewöhnlich nur erreichbaren Sicherheit, daß der reduzierende Körper schon ursprünglich in der Pflanze vorkommt und Glykose ist...« »Jedenfalls ist anzunehmen, daß der Kupferniederschlag auf einen gelösten, stickstofffreien Reservestoff zurückzuführen ist« (II, p. 409). In der Folge bezeichnet Fischer diesen Stoff als »Gefäßglykose« schlechtweg. Er untersuchte ihr Auftreten und ihre Verteilung in Abhängigkeit von der Jahreszeit und entwarf in seiner allgemein bekannten Arbeit über die Physiologie der Holzgewächse ein klares und geschlossenes Bild der Wandlung und Wanderung der N-freien Reservestoffe in den Bäumen, das in seinen Grundzügen in alle Lehrbücher übergegangen ist.

An dieser Stelle soll nur von Fischer's Glykoseuntersuchungen die Rede sein, die im Wesentlichen durch die Autorität Strasburger's ihre Bestätigung fanden (1891, p. 883 ff.).

Der Nachweis der »Gefäßglykose« durch A. Fischer fand merkwürdigerweise kaum eine Kritik, obgleich manche Beobachtungen geeignet waren, den unbefangenen Leser stutzig zu machen und zu einer kritischen Nachprüfung zu veranlassen. Gegen die Methode selbst wendet nur gelegentlich Lundegårdh ein, daß auch ein großer Teil der Gerbstoffe und Glykoside wie Aesculin u. a. die Fehling'sche Lösung reduzieren, so daß Fischer nicht berechtigt gewesen sei, die *Aesculus*-Rinde wegen des erzielten Niederschlages von Kupferoxydul als glykosereich zu bezeichnen. Abgesehen aber davon, daß Fischer selbst wenigstens auf die durch Gerbstoffe bedingte Fehlerquelle aufmerksam gemacht hat (II, p. 408), kommt Notter (1903, p. 18) zu dem Ergebnisse, daß der *Aesculus*-Gerbstoff keine reduzierende Wirkung auf »Fehling« ausübt.

Jedenfalls bleiben aber noch genügend andere Bedenken bestehen. Ich verweise etwa auf die merkwürdige Differenz im Verhalten der krautigen Pflanzen und eines Teiles der Sträucher gegenüber den Bäumen, von denen nur die letzteren Glykose in den Gefäßen führen sollen, während erstere keinen Oxydulniederschlag in den Wasserleitungsbahnen ergaben (III, p. 78). Glaubte Fischer daraus auf eine verschiedenartige Benützung

der Wasserbahnen in beiden Fällen schließen zu sollen, so nimmt Strasburger (l. c., p. 896) keinen prinzipiellen Unterschied an, es wäre denn, daß die Aufspeicherung von Kohlenhydraten im Gefäßsystem der krautigen Pflanzen überhaupt fehlt; zur Stütze seiner Anschauung zieht er Erfahrungen über die Wirkung eines Zusammenpressens der Stengelteile heran, die lehrten, daß bei vielen Pflanzen Früchte und Samen reifen und Kohlenhydrate speichern, »auch wenn kein anderer Weg der Zufuhr als die Wasserbahnen offen sind« (p. 898).[1] Da der Gefäßinhalt jedoch »Fehling« nicht reduziert, wäre an die Leitung löslicher aber nicht reduzierender Kohlenhydrate zu denken, doch fehlt auch für diese Vermutung der Beweis.

Sehr auffällig erscheint mir auch eine Unstimmigkeit zwischen den Angaben, welche Fischer in seinen beiden Arbeiten über das Auftreten der Glykose im Holze macht. Die ausführlichere Publikation legt nur auf ihr Vorkommen in den Wasserbahnen Gewicht. »Die Holzfasern enthalten in den meisten Fällen, z. B. bei *Betula*, *Populus*, *Cornus*, *Acer* entweder gar keinen oder nur hie und da spärliche Niederschläge, so daß meistens die Gefäße allein glykosehältig sind« (III, p. 76). Die von Fischer konstatierten Ausnahmen *Pirus Malus* und *Prunus avium* bestehen, wie Strasburger (l. c., p. 884) nachweist, in Wirklichkeit nicht, insofern die »Holzfasern« der Rosifloren tatsächlich Tracheiden darstellen. In seiner ersten Mitteilung wird aber ganz besonders auch auf das Glykosevorkommen in den Holzfasern und in den Zellmembranen hingewiesen. Die Untersuchung ergab, daß sie (die Glykose) vorwiegend in toten Gewebeelementen (Gefäßen, Tracheiden, Holzfasern, Markzellen, obliterierte Siebröhrenschicht, mancher Bast) oder in den Wänden lebender Elemente (manche Bastfasern, grüne Rindenzellen) vorkommt. (II, p. 415). So ergibt sich, daß die toten Elemente des Holzes und die Markzellen als Wanderungsbahnen der Glykose in Betracht kommen müssen« (II, p. 417). Wie aber soll die Glykose in

---

[1] Diese Untersuchungen nehmen allerdings keine Rücksicht auf die eigene Assimilationstätigkeit der Früchte, deren Bedeutung nicht unterschätzt werden darf.

die toten Holz- und Bastfasern usw. gelangen und von hier abgeleitet werden?

Nicht minder unverständlich ist auch der Befund, daß der Glykosegehalt im alten Holz nicht weniger bedeutend ist wie in den jungen Zweigen, obgleich doch offenbar die älteren Jahresringe an der Wasserleitung keinen Anteil mehr nehmen. Für *Ailanthus glandulosa* im besonderen lesen wir, daß hier trotz frühzeitiger Verstopfung der Gefäße mit Gummi »die Glykosereaktion ebenso deutlich in unwegsamen Gefäßen gefunden wurde wie in offenen.«[1]

Auch die Beobachtung, daß im ausgetrockneten Holze und in jahrelang in Alkohol gelegenem Material die »Gefäßglykose« in unveränderter Lokalisation und unvermindert gefunden wurde, ist zumindestens unerwartet, da Glykose in Alkohol — absoluter Alkohol wurde doch wohl zur Konservierung nicht verwendet — durchaus nicht unlöslich ist.

Unaufgeklärt bleibt auch — worauf schon Strasburger hinwies — die Beobachtung des Vorkommens von Glykose in den Gefäßen von solchen Bäumen (Ahornarten), in deren Blutungssaft Schröder zwar Rohrzucker, aber nicht eine Spur Traubenzucker nachzuweisen vermochte.

Völlig unerwartet ist jedenfalls auch die Beobachtung, daß Gefäßglykose zu allen Jahreszeiten in allen Teilen des Stammes gefunden wurde, was auch Strasburger (l. c., p. 894) und Notter bestätigten. Daß Glykose das ganze Jahr hindurch mit dem Wasserstrom aufwärts geführt würde, wie Fischer will, hat Strasburger mit Recht bezweifelt. Welche Rolle spielt aber die Gefäßglykose, wenn nach erfolgtem Knospenschluß und Einstellung der Kambiumtätigkeit die Entwicklungsvorgänge im Wesentlichen ihren Abschluß gefunden haben?

Diese und andere Bedenken veranlaßten mich, anläßlich von Untersuchungen über die Wandelung der Reservestoffe in Holzgewächsen der Glykosefrage näher zu treten.

---

[1] Strasburger (l. c., p. 894) bemerkt nur kurz, daß er das Kernholz an verschiedenen Coniferen, dann bei *Robinia* und bei der Eiche zuckerfrei fand und glaubt, daß es so auch in anderen Fällen sein werde.

Ich erhoffte mir zunächst von der Verwendung des Senft'schen Reagens — Phenylhydrazin und Natriumazetat — ein günstiges Ergebnis, da es zum lokalisierten Nachweis der Glykose der Fehling'schen Probe jedenfalls vorzuziehen ist, wenngleich es dieser an Empfindlichkeit nachsteht. Meine Ergebnisse waren aber sehr unbefriedigend; unter Umständen erhielt ich zwar eine schwache Reaktion in lebenden Zellen, doch konnte ich eine Osazonbildung in den Wasserleitungsbahnen nicht beobachten. Ich griff also wieder auf die Fehling'sche Reaktion zurück. In Übereinstimmung mit Fischer fand auch ich, daß die Reaktion in der üblichen Weise auf dem Objektträger ausgeführt, nicht das gewünschte Resultat gibt; der erzielte Oxydulniederschlag ist schwach und wenig lokalisiert. Die von Fischer angegebene Modifikation der Fehling'schen Probe führte dagegen ohneweiters zum erwarteten Ergebnisse.[1]

Fischer geht in der Weise vor, daß er median gespaltene Aststücke auf etwa 5 bis 10 Minuten in eine konzentrierte Lösung von Kupfersulfat einträgt und nach Abspülung mit Wasser in eine siedende Lösung von Seignettesalz mit Ätznatron einträgt, in der sie 2 bis 5 Minuten (III, p. 74) kochen müssen.[2] Warum bei dieser Methode der Zucker nicht aus den Zellen und namentlich aus den Gefäßen herausdiffundieren soll, ist mir nicht recht erklärlich, ebenso war mir die lange Kochdauer zunächst unverständlich, da doch erfahrungsgemäß der Oxydulniederschlag bei Anwesenheit reduzierender Zucker beim ersten Aufwallen der Lauge eintritt. Tatsächlich erzielt man jedoch auf dem eingeschlagenen Wege deutliche Niederschläge in den toten Elementen des Holzes.

Die auftretenden Oxydulniederschläge sind oft sehr schön auf einzelne Zellelemente lokalisiert; ich fand sie wie Fischer auf die Wasserbahnen beschränkt, häufig aber auch die Libriformfasern dicht erfüllend. Bisweilen sind sie auch in der Zelle lokalisiert. So beobachtet man sie z. B. in den Tracheiden

---

[1] Ich benutzte annähernd mit gleichem Erfolg nach verschiedenen Rezepten (F. Allihn, Artur Mayer u. a.) hergestellte Lösungen.

[2] Auch Tunmann (1913, p. 184) übernimmt diese Methode als geeignet zum lokalisierten Glykosenachweis.

des Fichtenholzes oft im Umkreise der Hoftüpfel (Fig. 1) oder etwa in den Markstrahlzellen von *Ailanthus* hauptsächlich die Tüpfelkanäle erfüllend. Ich lege dieser Erscheinung indessen keine Bedeutung bei, da vielleicht nur physikalische Gründe für sie maßgebend sind. Ich kann auch die Beobachtung von Fischer bestätigen, daß die Niederschläge in den Wasserbahnen oft der Membran anliegen. Der von ihm gegebenen Erklärung vermag ich mich jedoch nicht anzuschließen; es ist durchaus unwahrscheinlich, daß bei der Durchführung der Reaktion die Zuckerlösung sich nicht im ganzen Gefäßlumen verteilt.

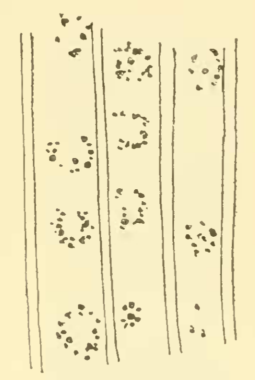


Fig. 1. Verteilung des Kupferoxydulniederschlages im Bereiche der Hoftüpfel an einem Radialschnitte durch Fichtenholz.

Bemerkenswert scheint mir eine andere Beobachtung, welche auf eine Beziehung zur Zellmembran hinweist. Namentlich an Libriformfasern konnte ich bei verschiedenen Hölzern an günstigen Stellen unzweifelhaft die Bildung des Niederschlages im Bereiche der Mittellamelle beobachten, von wo aus er sich in die Verdickungsschichten hineinzog (Fig. 2). Ähnliches konnte ich auch an den Markstrahlzellen von *Ailanthus* nachweisen. Die Angaben Fischer's über das Auftreten des Oxydulniederschlages innerhalb der Membranen finden somit ihre Bestätigung, doch muß es von vornherein einigermaßen zweifelhaft erscheinen, ob die Bildung des Präzipitates etwa auf einem Glykosegehalt der Membran beruht, die von einer Zuckerlösung infiltriert ist; gerade die augenscheinliche Lokalisierung in der Mittellamelle scheint gegen eine solche Deutung zu sprechen.

Ich habe auch einige Kernhölzer in den Bereich der Untersuchung gezogen, kann aber die schon oben erwähnten Angaben Strasburger's nicht durchaus bestätigen. So fand ich in einem achtjährigen frischen Kirschenaste, der einen Durchmesser von etwa 6 Zentimeter aufwies, im Kern wie im Splinte eine annähernd gleiche Verteilung des Oxydul-

niederschlages. In einem Kernholz von *Caesalpinia echinata* aus der Institutssammlung, das einem 12 Zentimeter starken Holzstücke entstammte, konnte gleichfalls ein, wenngleich nur spärlicher Niederschlag erzielt werden.

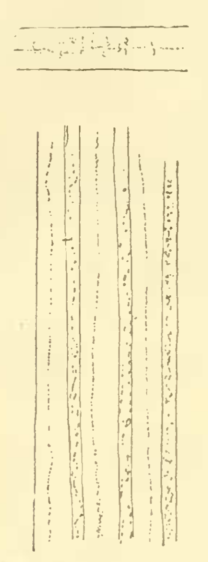


Fig. 2 Oxydulniederschläge in den Membranen von Rotholztracheiden der Fichte. Das Holz war vor Ausführung der Reaktion stundenlang in gewechseltem Wasser ausgekocht worden.

Der Oxydulniederschlag tritt somit unzweifelhaft auch in alten Teilen des Holzkörpers auf, die jedenfalls keine lebenden Elemente mehr enthalten und von der Wasserleitung ausgeschaltet sind.

Um diese überraschende Tatsache aufzuklären, versuchte ich, auf dem Boden der Fischer'schen Anschauung stehend, die Glykose aus den Gefäßen durch Durchspülen mit Wasser auszuwaschen, wobei ich einen Unterschied im Verhalten der leitenden und von der Leitung bereits ausgeschalteten Wasserbahnen erwartete.

Meine Bemühungen blieben aber ebenso fruchtlos wie die gleichartigen Versuche von Alfred Fischer. Ich setzte etwa 10 Zentimeter lange, zwei- bis dreijährige Zweigstücke von Ahorn und Weide luftdicht in einen Saugkolben ein und saugte mittels einer Wasserstrahlpumpe langsam destilliertes Wasser durch. Nach der Durchspülung wurden die Zweige entrindet und das Kambium sowie die peripheren Holzschichten entfernt. Nachdem die Zweigstücke hierauf sorgfältig abgespült worden waren, um etwa anhaftende Fragmente der abpräparierten Teile zu entfernen, wurde ein mittleres Stück von 1 bis 1·5 Zentimeter Länge herausgeschnitten, halbiert und in toto der Fehling'schen Probe genau nach Angabe Fischer's unterworfen. Das Spülwasser wurde auf dem Wasserbade tunlichst eingeengt und gleichfalls auf Zucker untersucht. Während aber in diesem auch nicht die Spur einer Reduktion nachweisbar war, zeigten die behandelten Zweigstücke einen im Vergleiche zu den

nicht behandelten Kontrollzweigen unverminderten Oxydulniederschlag, und zwar wie ich besonders betonen muß, nicht nur in den lebenden Elementen und Holzfasern, sondern auch in den Wasserbahnen.

Um mich zu vergewissern, welchen Weg das durchgesaugte Wasser genommen hat, durchspülte ich andere Zweige mit wässeriger Eosinlösung. Zum Versuche wurden diesmal Ahorn- und Fichtenzweige benützt. An der eingetretenen Färbung konnte man sich leicht überzeugen, daß die Spülflüssigkeit durch alle Wasserleitungselemente gesaugt worden war, so daß doch wenigstens eine Verminderung des Reduktionsvermögens zu erwarten gewesen wäre. Das Ergebnis war aber wieder insoferne negativ, als die Reduktion nach wie vor mit unverminderter Stärke eintrat. Um ein Bild von der Stärke des Kupferoxydulniederschlages zu geben, der in einem derartig behandelten Objekte (Fichte) auftrat, verweise ich auf die nebenstehende Fig. 3, welche tunlichst genau mit dem Zeichenprisma angefertigt wurde.

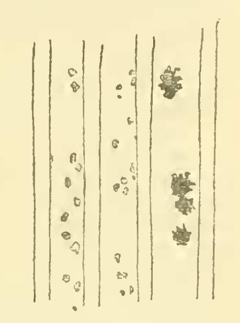


Fig. 3. Niederschläge von Kupferoxydul in den Tracheiden eines Fichtenholzes, das vor der Reaktion im zerkleinerten Zustand einige Stunden in wiederholt gewechseltem Wasser ausgekocht worden war.

Adolf Fischer führte das negative Ergebnis darauf zurück, daß sich die Wasserleitungsbahnen bei der gewählten Versuchsanordnung schnell verstopfen. Immerhin sind doch die in Betracht kommenden Glykosemengen so gering,[1] daß man erwarten sollte, es würde die Zuckerlösung schon in wenigen Minuten aus den Gefäßen herausgespült sein; selbst wenn eine starke Adsorption des Zuckers stattfinden sollte, wäre wohl wenigstens eine Verminderung des Oxydulniederschlages zu erwarten gewesen.

Haben die Durchspülungsversuche zu einem negativen Ergebnisse geführt, so wäre es nach Fischer doch möglich,

[1] Fischer berechnet für ein Gefäß von 0·05 *mm* Durchmesser einen Glykosegehalt von 0·0000196 *mg* auf 1 *mm* Länge (III, p. 131).

die Glykose auszulaugen. Nach 24stündigem Liegen in Wasser wäre der Oxydulniederschlag in den oberflächlichen Zellagen ersichtlich vermindert worden. Aber auch mit dieser Methode bin ich nicht zum Ziele gekommen. Ich untersuchte Zweige verschiedener Art (z. B. Fichte, *Ailanthus*) nach achttägigem Liegen in Wasser, ohne eine Änderung der Stärke der »Glykose«-Reaktion ermitteln zu können. Dazu muß ich allerdings bemerken, daß ein Abschätzen der Quantität des Oxydulniederschlages umso mißlicher ist, als selbst in gleichartigen Zellen desselben Schnittes Korngröße und Dichtigkeit des Niederschlages wechseln.

Schließlich ging ich noch in radikalerer Weise vor, um etwaige Glykose in Lösung zu bringen. Von der Oberfläche eines durchspülten und entschälten Zweigstückchens wurden teils ganz grobe Späne, teils feinere Schnitte abgenommen und in reichlicher Wassermenge durch eine Stunde ausgekocht und nachgewaschen. Die jetzt wohl zweifellos zuckerfreien Partikeln wurden in der Eprouvette der Fehling'schen Probe unterworfen, wobei sie eine Viertelstunde lang in der Lösung gekocht wurden. Das Ergebnis übertraf meine Erwartungen. Die Späne reduzierten schon makroskopisch schwach aber deutlich die Fehling'sche Lösung. Ausgekochte Schnitte auf dem Objektträger in gleicher Weise behandelt — sie wurden auf dem Wasserbade ebensolange erhitzt — zeigten einen kräftigen Niederschlag im Lumen der toten und plasmaführenden Zellen. Zum Teil war der Kupferniederschlag feinkörnig, zum Teil auffallend durch die Ausbildung schöner Krystalle und Krystallaggregate.

Das Ergebnis war dasselbe, wenn Sägespäne aus einem trockenen Fichtenholz — es wurde ein altes Fichtenbrett benützt — vor Durchführung der Reaktion stundenlang mit reichlicher Wassermenge ausgekocht wurden. Kocht man die Späne im Reaktionsgemische, so ist die Kupferreduktion schon makrochemisch deutlich nachweisbar.

Damit ist wohl der Beweis erbracht, daß die Reduktion der Fehling'schen Probe in den toten Elementen des Holzes der Hauptsache nach nicht

auf Glykose und überhaupt nicht auf im »Rohsafte« gelöste Substanzen zurückgeführt werden kann.

Die von Alfred Fischer schon in seiner ersten Veröffentlichung über unseren Gegenstand zugegebene Möglichkeit, daß die Reduktion höchstens auf einen »unbekannten« Stoff zurückgeführt werden könnte, trifft somit wider Erwarten zu, wenigstens insoferne als es sich um die Wirkung eines bisher noch nicht identifizierten Stoffes handelt. Daß Harze und Gerbstoffe nicht in Betracht kommen, hat bereits Fischer selbst dargetan und geht schon daraus hervor, daß die reduzierende Wirkung trotz Kochens in Wasser und Alkohol erhalten bleibt.

Die Reduktionswirkung kann jedenfalls nur durch in Wasser und Alkohol schwer lösliche Inhaltsstoffe oder durch die Membran selbst bedingt sein. Insoferne die Oxydulniederschläge lokalisiert in den toten Elementen der Wasserbahnen auftreten, wird man sich für die zweite Eventualität entscheiden müssen. Ein Gleiches gilt für die inhaltsleeren Holzfasern. Ob auch die Membranen lebender Zellen eine reduzierende Wirkung ausüben können, läßt sich dagegen nicht mit gleicher Sicherheit behaupten. Die Gesamtheit des Zellinhaltes können wir nur durch energisch wirkende Agentien entfernen, wobei die Membranen eine derartige Veränderung erfahren könnten, daß sie erst infolge dieser Einwirkung eine reduzierende Wirkung äußern.[1]

Wenn wir die Zellmembran für die Reduktion der Fehlingschen Lösung verantwortlich machen, so könnte zunächst daran gedacht werden, daß durch das Kochen mit Lauge ein reduzierender Zucker abgespalten wird. Gegen eine etwaige hydrolytische Abspaltung eines Zuckers aus der Zellulose sprechen aber andere Erfahrungen. Wenigstens wurde beobachtet, daß Baumwollzellulose bei Behandlung mit Laugen unter Druck zwar in beträchtlichem Maße gelöst wurde, doch gab die Lösung keine Reaktion mit Fehling. »Es ist zu betonen, daß anscheinend keine Zucker gebildet werden; wenn also Alkalien eine Hydrolyse bewirken, so führt diese nicht wie bei Verwendung von Säuren bis zu Zuckern« (Schwalbe,

[1] So wirkt z. B. Sulfitzellulose reduzierend (Schwalbe, p. 574).

p. 49). Möglich wäre es jedoch, daß durch die Einwirkung heißer Lauge bei Luftzutritt eine teilweise Oxydation der Zellulose erfolgt unter Bildung von Stoffen, die der Oxyzellulose nahestehen, welche bekanntlich Fehling reduzieren. Ob aber die doch verhältnismäßig kurze Kochdauer zu einer entsprechenden Oxydation hinreicht, ist zweifelhaft.

Es ist jedenfalls auffällig, daß so häufig gerade die Mittellamelle einen lokalisierten Oxydulniederschlag zeigt, also jener Anteil, der am stärksten verholzt ist (Wislicenus 1909). Daß aber diese Reaktion nicht auf das Czapek'sche »Hadromal« zurückgeht, also auf jenen Komplex, den wir für den Eintritt der Phloroglucinsalzsäurereaktion verantwortlich machen, dafür spricht schon der Umstand, daß durchaus nicht alle verholzten Membranen reduzierend wirken, wie schon aus den Beobachtungen Fischer's hervorgeht, der z. B. das Ausbleiben der Reduktion in den Gefäßen der krautigen Pflanzen betont. Ferner nimmt das Reduktionsvermögen des Holzes durch andauerndes Kochen mit $n/_{10}$ KOH ersichtlich ab, während die »Holzreaktion« augenscheinlich dabei ungeschwächt erhalten bleibt.

Es scheint mir daher wahrscheinlicher, daß die reduzierende Wirkung auf vorliegende Zellulosemodifikationen zurückzuführen ist. Für die Ligno-, Oxy- und Hydrozellulosen ist ja ein mehr oder minder kräftiges Reduktionsvermögen der Fehling'schen Lösung bezeichnend.

Da die chemische Charakteristik der Zellulosen nicht immer zur sicheren makrochemischen Unterscheidung ausreicht, so ist eine mikrochemische Untersuchung von vornherein wenig Erfolg versprechend, umsoweniger als die Reduktion auch auf verschiedenen nebeneinander befindlichen Membranstoffen beruhen kann.[1]

Die Zurückführung des Kupferoxydulniederschlages auf eine reduzierend wirkende Membransubstanz macht manche Angaben Adolf Fischer's verständlich. Vor allem erklärt sich jetzt die von ihm für notwendig erachtete lange Kochdauer bei Ausführung der Reaktion. Die reduzierende Wirkung der

[1] Wobei natürlich auch an Pentosen zu denken wäre.

oben genannten Zellulosen stellt sich immer erst nach längerem Kochen ein, während Glykosen sofort reduzieren. Verständlich ist es jetzt auch, daß in Elementen, die mit der Wasserleitung gar nichts zu tun haben, die Holzfasern und tote Markzellen oder Gefäße, die durch Verstopfung an der Wasserleitung verhindert sind, nichtsdestoweniger »Gefäßglykose« enthalten können. Daß reduzierende Zellulosen nicht überall vorhanden sein müssen oder erst in älteren Zellen gebildet werden können, erklärt vielleicht auch das abweichende Verhalten krautiger Pflanzen und einjähriger Triebe.

Wenn wir die in den toten Elementen des Holzes auftretende Reduktion von Fehling auf die reduzierende Wirkung der Zellmembranen zurückführen, so bedürfen aber die Beobachtungen der jahreszeitlichen Veränderungen in der Stärke des Oxydulniederschlages einer Aufklärung.

Sehr beträchtlich sind sie offenbar überhaupt nicht. Die quantitativen Beobachtungen beruhen natürlich nur auf Schätzungen. Notter, der die jahreszeitlichen Veränderungen im Gehalt an »Gefäßglykose« graphisch wiedergibt, äußert sich über die eingeschlagene Methode folgendermaßen: »Für die Stärke des Kupferoxydulniederschlages stellte ich auch 12 Typen auf, die hinsichtlich Genauigkeit mit den Mängeln aller solcher Bestimmungen behaftet sind, für vorliegende Untersuchungen aber ihren Zweck erfüllen.« (p. 18.) Bedenkt man aber, daß der Niederschlag bezüglich Dichtigkeit und Korngröße sogar in Elementen desselben Schnittes je nach den Reaktionsbedingungen, die man nicht immer in der Hand hat, verschieden ist, dann wird man den Wert solcher Schätzungen sehr gering anschlagen und Schätzungsfehler um eine ganze Anzahl von Einheiten sind durchaus möglich. Immerhin stehen aber Notter's Befunde doch mit den viel vorsichtiger gehaltenen Angaben Alfred Fischer's bis zu einem gewissen Grade im Einklange; eine Veränderung in der Stärke des Oxydulniederschlages ist danach offenbar tatsächlich zu konstatieren.

Daß das Reduktionsvermögen der Membran eine Veränderung erfahren sollte, ist kaum anzunehmen; die Erklärung ist meines Erachtens viel einfacher: Daß Zucker unter Um-

ständen mit dem Saftstrome mitgeführt wird, erscheint zweifellos; die Ringelungsversuche und insbesondere die Analysen des Blutungswassers sprechen eine zu deutliche Sprache. Meines Erachtens haben nur Alfred Fischer und seine Nachfolger darin geirrt, daß sie den gesamten Oxydulniederschlag auf Rechnung der Glykose setzten, während ein Teil, wahrscheinlich sogar der größere, auf die reduzierende Wirkung der Membran zurückzuführen ist. Halten wir uns an die Äußerung von Alfred Fischer (III, p. 86): »Soweit eine Abschätzung es gestattet, darf wohl behauptet werden, daß im Frühjahre, von Anfang April bis Ende Mai, die toten Elemente des Holzes am glykosereichsten sind.«[1] Die Steigerung des Oxydulniederschlages ist unserer Meinung nach auf das tatsächliche Auftreten von Zucker im »Rohsaft« zurückzuführen, was mit unseren übrigen Erfahrungen im Einklange steht. Was aber wieder zweifelhaft geworden ist, ist die Behauptung, daß die Wasserbahnen das ganze Jahr über Glykose führen.

Jedenfalls sind die bisherigen Angaben über das quantitative Auftreten der Glykose in den Wasserleitungsbahnen und die daraus gezogenen Schlüsse nur unsicher begründet, da Glykose und andere die Reduktion bedingende Stoffe nicht genügend auseinandergehalten wurden, so daß die Glykose-Frage einer erneuten kritischen Untersuchung dringend bedürftig wäre.

Zusammenfassung.

1. Die nach der Methode Alfred Fischer's erzielbare Reduktion der Fehling'schen Lösung in den toten Elementen, speziell den Gefäßen des Holzkörpers ist, wenigstens der Hauptsache nach, nicht auf Glykose oder einen anderen gelösten reduzierenden Zucker zurückzuführen.

2. Der Kupferoxydulniederschlag, der unter diesen Umständen teils im Zellumen, teils in der Membran selbst zur Abscheidung gelangt, ist vielmehr ausschließlich oder vor-

[1] Diese Beobachtung wird auch von Notter bestätigt (p. 31), hingegen scheint mir bezüglich des zweiten von Notter gefundenen Maximums im Herbste eine Nachprüfung dringend wünschenswert.

wiegend auf die reduzierende Wirkung der Membran, wahrscheinlich bestimmter Zellulosemodifikationen, zurückzuführen; dadurch findet auch die scheinbare Glykosespeicherung in Libriformfasern und den an der Wasserleitung nicht mehr beteiligten Gefäßen ihre ungezwungene Erklärung.

Literaturübersicht.

F. Allihn, »Über den Verzuckerungsprozeß bei der Einwirkung verdünnter H_2SO_4 auf Stärkemehl, bei höherer Temperatur.« Journ. f. prakt. Chem. N. F. Bd. 22. 1880, p. 46.

Fr. Czapek, Biochemie der Pflanzen, II. Aufl., Jena 1913.

Alfred Fischer, I. Neue Beobachtungen über Stärke in den Gefäßen Berichte d. deutsch. bot. Ges., Bd. 4, 1886, p. XCVII.

— II. Glykose als Reservestoff der Laubhölzer. Botan. Zeitung. Bd. 46, 1888, p. 405.

— III. Beiträge zur Physiologie der Holzgewächse. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 22, 1891, p. 73.

G. Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie, I. Aufl., Leipzig 1884.

Th. Hartig, I. Über die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen Bot. Ztg. 1858, p. 338.

— II. Lehrbuch der Anat. u. Phys. der Holzpflanzen.

R. Hornberger, Beobachtungen über den Frühjahrssaft der Birke und Hainbuche. Forstliche Blätter 1887. — Ref. im Bot. Ctrbl., Bd. 33, p. 227.

B. Lidforss, Über die Wirkungssphäre der Glykose- und Gerbstoffreagentien. Acta Universitatis Lundensis, T. 28, 1891/92, p. 1.

A. Meyer, Mikrochemische Reaktion zum Nachweis der reduzierenden Zuckerarten. Ber. d. deutsch. bot. Ges., Bd. 3, 1885, p. 332.

C. Notter, Beitrag zur Physiologie d. Holzgewächse. In. Diss., Heidelberg 1903.

J. Sachs, Über die Leitung der plastischen Stoffe durch verschiedene Gewebsformen. Flora, Bd. 46, 1863.

J. Schröder, Beitr. z. Kenntnis der Frühjahrsperiode d. Ahorns, *Acer platanoides*. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 7, 1869/70, p. 261.

P. Schulz, Das Markstrahlgewebe und seine Beziehungen zu den leitenden Elementen des Holzes. Jahrb. d. bot. Gartens zu Berlin, Bd. II, 1883, p. 230.

C. G. Schwalbe, Die Chemie der Zellulose, Berlin, Bornträger 1911.

E. Strasburger, Über den Bau und die Verrichtungen d. Leitungsbahnen in den Pflanzen. (Histologische Beiträge III.) Jena 1891, p. 877.

O. Tunmann, Pflanzenmikrochemie, Berlin 1913.

H. Wislicenus, Tharandter forstl. Jahrb., Bd. 60, 1909, p. 313.
